毛蕊花糖苷的生理功能及其在动物生产中应用的研究进展

袁雅婷　胡贵丽　丁　鹏　王玉诗　张石蕊　贺　喜*

（湖南农业大学动物科学技术学院，湖南畜禽安全生产协同创新中心，长沙 410128）

摘　要：毛蕊花糖苷是一种苯乙醇苷类物质，在自然界多种植物内广泛存在。众多研究表明毛蕊花糖苷能改善动物的肉质和乳品质，提高动物生产性能。本文综述了毛蕊花糖苷的抗氧化作用、抗炎作用等生物学功能，总结了毛蕊花糖苷最新的提取工艺以及定量定性分析方法，介绍了其在动物生产中的应用，旨在为毛蕊花糖苷在动物生产中的进一步应用提供帮助。

关键词：毛蕊花糖苷；生物学功能；饲料添加剂；动物生产

中图分类号：S816　　文献标识码：A　　文章编号：

毛蕊花糖苷(verbascoside)又名阿克苷、麦角甾苷、洋丁香酚甙，分子式为 $C_{29}H_{36}O_{15}$，是一类苯丙素苷化合物(phenylpropanoid glycosides,PPGs)[1]，经纯化提取后为白色无定型粉末。毛蕊花糖苷由罗马大学 Scarpati 最早在 1963 年从洋丁香中分离并提取出来，其基本结构如图 1 所示。毛蕊花糖苷在洋丁香、绿豆、车前草、肉苁蓉、美观马先蒿等 79 属植物中广泛存在，资源丰富，具有抗氧化、抗炎杀菌、调节细胞凋亡等多种生理活性，经机体摄入后能快速吸收发挥生理作用，并能保护肝组织[2]、肺组织和皮肤，拮抗神经系统损伤[3-5]。目前毛蕊花糖苷主要被用于人类的医疗保健，在动物生产领域的应用较少。本文就国内外相关研究现状，总结毛蕊花糖苷的主要生物学功能及其在动物体内的吸收代谢，探究其应用于动物生产的潜在效益和规模利用可行性，为毛蕊花糖苷在动物生产中的应用提供参考。

收稿日期：2016-04-10

基金项目：2014 公益性行业（农业）科研专项项目（201403047）；2014 科技部科技基础性工作专项（2014FY111000-3）

作者简介：袁雅婷（1993—），女，湖南冷水江人，硕士研究生，从事饲料资源开发与利用的研究。E-mail: 784725012@qq.com

*通信作者：贺　喜，教授，硕士生导师，E-mail: hexi111@126.com

图 1　毛蕊花糖苷的化学结构

Fig.1　Chemical structure of verbascoside[1]

1　毛蕊花糖苷的结构与生物学功能

如图 1 所示的毛蕊花糖苷的化学结构来看，葡萄糖是毛蕊花糖苷的核心部分，起连接左右 2 个芳烃结构的桥梁作用；同时，毛蕊花糖苷两侧苯酚环上均有 2 个邻位羟基[6]，具有明显的抗氧化能力，毛蕊花糖苷基于抗氧化机制的各类生理功能便由此而来。和其他 PPGs 类似，毛蕊花糖苷在生物膜上的活性机制由结构内肉桂酸衍生物部分决定。尽管毛蕊花糖苷分子因带有羟基具有亲水性，其分子内的咖啡酰基团仍能够深入磷脂膜的疏水核心，与磷脂胆碱膜上脂质分子形成比率为 1:4 的分子复合物，并影响细胞膜上磷酸基团的电离行为，具有与囊泡表面相互作用的极大可能性，能通过增加磷脂头部面积降低磷脂酰甘油膜内囊泡的粒径，提高囊泡曲率。Funes 等[7]研究提出，毛蕊花糖苷对金黄葡萄球菌的抑制能力可能正是源于毛蕊花糖苷对磷脂/水界面生物膜的强力调节作用。不仅限于上述性质，毛蕊花糖苷对机体的作用机理是多样化的。

1.1　毛蕊花糖苷的吸收代谢和安全性

近年来研究显示，毛蕊花糖苷能够通过血脑屏障和血睾屏障进入相应组织内，在小鼠体内的半衰期为 28 min[8]，毒性低且代谢迅速，但具体的吸收机制尚未见报道。甘萍等[9]对灌胃小鼠体内毛蕊花糖苷在组织内分布进行研究后发现该成分主要分布在肠道、肺脏、脾脏、肌肉组织中，且相对含量均高于血浆中毛蕊花糖苷的含量。当处于人工模拟肠道环境下，pH 产生变化时，毛蕊花糖苷表现的损失率会随之变化，pH 为 3 的环境下毛蕊花糖苷较为稳定，而在 pH 为 7 的情况下会损失 62.4%，转化为其他抗氧化物[10]。雷厉等[11]研究管花肉苁蓉苯乙醇总苷在犬胃肠道内的转化时发现，毛蕊花糖苷主要在小肠内被吸收，在大肠发生代谢，松果菊苷在大肠内可转化为毛蕊花糖苷。

1.2　抗氧化作用

在生产中，当动物受到外界刺激时，氧化与抗氧化系统失衡从而产生的氧化应激是造成肠道病理性紊乱的重要因素，同时动物体内细胞在新陈代谢和免疫反应过程中仍不断产生自由基等促氧化类物质。在机体内部，毛蕊花糖苷主要在抑制促氧化类物质和强化机体抗氧化系统两大方面起作用。机体促氧化物质主要有活性氧簇类(reactive oxygen species,ROS)如过

氧化氢（H_2O_2）、超氧阴离子自由基（O_2^-•）和羟自由基（•OH^-），以及自由基如 1，1-二苯基-2-苦肼基自由基(DPPH)。这类物质的产生速度超过机体抗氧化系统的清除效率时，动物就表现为氧化应激。该现象发生时，动物体内氧化与抗氧化系统失衡，内源抗氧化剂被消耗，易导致炎症、细胞凋亡和局部组织坏死。李丽等[12]使用光化学发光(PCL)法和 DPPH 法对车前草提取物中毛蕊花糖苷的抗氧化性进行体外评价，发现从车前草中分离得到的苯乙醇苷类化合物中，毛蕊花糖苷的抗氧化能力最强，1 μg 毛蕊花糖苷的抗氧化能力相当于 11.44 nmol 抗坏血酸，同时发现随着毛蕊花糖苷添加量的增加自由基残留率迅速降低。毛蕊花糖苷不但能有效清除自由基，有研究亦指出，毛蕊花糖苷能降低细胞受刺激产生 O_2^-•的水平，有效抑制促氧化物质的生成。机体抗氧化系统对生理活动的正常运行至关重要，超氧化物歧化酶（superoxide dismutase,SOD）是细胞质和线粒体内含有的重要抗氧化剂，其活性大小可作为抗氧化能力的直接评判标准。朱菊梅等[13]研究发现，在饲粮中添加毛蕊花糖苷可使氧化应激小鼠组织中 SOD 活性提高，丙二醛（malondialdehyde，MDA）含量降低，可见毛蕊花糖苷能显著提高动物的抗氧化应激能力，抑制脂质过氧化现象，使机体抗氧化系统得到强化。此外，毛蕊花糖苷能协助机体对抗由氧化应激造成的 DNA 损伤。毛蕊花糖苷作为外源性抗氧化剂添加入饲粮中，能够降低动物内源性抗氧化剂的消耗，缓解氧化应激对生理系统运行和发育的影响。上述研究中各项指标的改变证明了毛蕊花糖苷在动物体内良好的抗氧化性能，其抗氧化作用途径多、范围广。

1.3 抗炎作用

近年来的研究显示，毛蕊花糖苷具有抗炎作用，其作用机理在细胞抗炎相关信号通路和对机体具体炎性因子、抗炎因子表达的调节上均有涉及。

丝裂原活化蛋白激酶(mitogen-activated protein kinase，MAPK)信号通路对动物机体炎症反应有调控作用，目前发现毛蕊花糖苷能调节 MAPK 信号通路中 p38 和细胞外信号调节激酶(extracellular regulated proteinhnase 1/2，ERK1/2)代表的亚型信号通路。毛蕊花糖苷可有效地抑制 p38 氧化磷酸化，再经由 p38/MAPK 信号通路向下抑制肿瘤坏死因子-α（tumor necrosis factor-α，*TNF-α*）等炎性因子的表达[14]；王洪权等[15]发现毛蕊花糖苷在 MAPK 信号通路中还能上调诱导抗炎因子血红素加氧酶 1（heme oxygenase 1，*HO*-1）的表达，证明毛蕊花糖苷能从不同类型 MAPK 信号通路分别发挥抑制或者上调作用。另外，毛蕊花糖苷能向下调

节嗜碱性粒细胞内钙离子依赖型蛋白激酶(Ca/calmodulin-dependent protein kinases，CAMK)的信号传递，减少嗜碱性细胞产生的炎症反应。

毛蕊花糖苷的抗炎作用同时与对依赖于钙离子的磷脂酶 A2(phospholipase A2，PLA-2)的抑制有关[16]。PLA-2 可激活环氧化酶的同工酶环氧化物酶 2(cyclooxygenase-2，COX-2)的活性，继而诱发前列腺素(prostaglandins，PGs)的合成，基于上述生化反应，毛蕊花糖苷被证实是一种 COX-2 抑制剂。Ouitas 等[17]在 2009 年研究含毛蕊花糖苷植物提取物对体外培养猪皮肤细胞的影响时发现，该提取物有效地抑制了炎症因子 *COX*-2 及其产物前列腺素 E2(prostaglandin E2，*PGE*2)的表达。

毛蕊花糖苷的抗炎作用还体现在抑制动物细胞内诱导型一氧化氮合酶(inducible nitricoxide synthase，*iNOS*)的表达和抑制一氧化氮(nitrous oxide，NO)的释放上。机体炎症和慢性感染可诱导 *iNOS* 表达，继而使转录活化蛋白 1(activator protein transcription factor-1，*AP*-1)和核转录因子-κB(nuclear factor-kappa B，*NF-κB*)的表达量上调：AP-1 控制细胞增殖、肿瘤转化和细胞凋亡许多方面，NF-κB 参与机体急慢性炎症反应和机体免疫反应的多个阶段。毛蕊花糖苷能使动物体内 *AP*-1 和 *NF-κB* 的表达量下调，还能选择性抑制 *NF-κB*。在细胞层次的研究上，Rao 等[18]报道，在被脂多糖（lipopolysaccharides，LPS）或者干扰素-γ（interferon-γ，INF-γ）刺激引起应激后，40 μmol/L 的毛蕊花糖苷能强力地抑制巨噬细胞内 NO、TNF-α 和白细胞介素-12(interleukin-12,IL-12)的产生。赵军等[2]采用卡介苗和大肠杆菌 LPS 刺激小鼠原代肝细胞时发现毛蕊花糖苷能显著降低谷丙转氨酶（ALT）、谷草转氨酶（AST）活性和 NO 的水平，提示毛蕊花糖苷可能通过抑制肝细胞释放 NO 从而达到保肝降酶的作用。毛蕊花糖苷能从多种途径有效地调节、抑制炎性因子的表达，考虑到这些抗炎途径的多样性，本文在此将其进行总结，如图 2 所示，方便阅读与参考。

Verbascoside：毛蕊花糖苷；MAPK：丝裂原活化蛋白激酶 mitogen-activated protein kinase；ERK1/2 细胞外信号调节激酶 l/2 extracellular regulated proteinhnase l/2；HO-1：血红素加氧酶 1 heme oxygenase 1；TNF-α：肿瘤坏死因子-α tumor necrosis factor-α；PLA-2：磷脂酶 A2 phospholipase A2；COX-2：环氧化物酶 2 cyclooxygenase-2；PGE2：前列腺素 E2 prostaglandin E2；NOS：一氧化氮合成酶 nitrioxide synthase；iNOS：诱导型一氧化氮合成酶 inducible nitricoxide synthase：NF-κB：核转录因子-κB nuclear factor-kappa B；AP-1：转录活化蛋白 1 activator protein transcription factor-1；NO：一氧化氮 nitrous oxide；↑表示促进表达 represented promoting expression；↓表示抑制表达 represented suppressing expression。

图 2　毛蕊花糖苷主要的抗炎作用

Fig.2　Main anti-inflammatory effects of verbascoside[14-19]

1.4　其他作用

除上述作用外，毛蕊花糖苷尚在骨代谢、生殖系统、消化系统等方面具有调节作用。

1.4.1　对骨代谢调节作用

哺乳期动物如饲养管理不当易出现骨质疏松的状况，合理营养配给和平衡动物骨代谢能减少这种状况的发生，延长乳畜的工作年限。王琳琳等[19]采用荧光素酶质粒法发现毛蕊花糖苷是一种备选的选择性雌激素受体调节剂，并能与雌二醇竞争性地结合雌激素受体，有类似于白藜芦醇等已发现的植物雌激素成分的作用。植物雌激素与动物雌激素结构相似且使用成本较低，有研究表明植物雌激素能调节骨代谢，维持骨吸收与骨形成的平衡。邢晓旭等[20]发现不同含量的毛蕊花糖苷皆能促进大鼠体外培养成骨细胞的增殖与分化，另有研究报道称毛蕊花糖苷能促进大鼠成骨细胞骨形成蛋白-2(bone morphogenetic protein-2,*BMP*-2)基因的表达。可见，毛蕊花糖苷可促进骨再生，抑制骨质疏松的形成，有效调节动物骨代谢。

1.4.2　对生殖系统调节作用

种用公畜在高频使役后常会出现精子数量和质量下降，勃起潜伏期延长的情况，严重影响生产进度和企业经济效益。毛蕊花糖苷是中医方剂学上常用补阳药材肉苁蓉的有效成分，这与毛蕊花糖苷对生殖系统相关细胞和内分泌的调节作用密切相关。在饲粮中添加毛蕊花糖

苷能够拮抗小鼠睾丸萎缩和雄性激素减少所带来的负面影响，显著缩短勃起潜伏期，明显增加精子数量[21]。孙卫东等[22]研究发现，毛蕊花糖苷可诱导前列腺细胞凋亡，调节和恢复前列腺细胞凋亡和增殖的平衡，发挥抑制前列腺细胞增生的作用。毛蕊花糖苷可能对下丘脑-垂体-肾上腺功能具有调节作用，调理生殖系统，由此具有中药药理上的补肾壮阳作用。在饲粮中加入具有生殖调节作用的毛蕊花糖苷有望提高种用公畜的使役时间和对高强度使用的耐受程度，提高生产性能。

1.4.3 对消化系统的调节作用

张洪泉等[23]证实毛蕊花糖苷能加强正常小鼠胃排空和小肠推进性，提高胃蛋白酶活性，加强回肠和直肠的收缩力，拮抗药物引起的胃肠道亢进和抑制。Marcial 等[24]研究发现，含有毛蕊花糖苷和异毛蕊花糖苷的植物提取物能阻止幽门螺旋杆菌在人胃癌细胞系 AGS 上的附着，并显著减少了 AGS 细胞培养时幽门螺旋杆菌引起的白细胞介素-8(interleukin-8,IL-8)分泌，刺激了细胞系内巨噬细胞的吞噬率，抑制了 LPS 诱导的 NO 分泌。毛蕊花糖苷具有促消化、调节肠胃功能的效果，能治疗动物消化不良和胃肠功能紊乱，其抗胃炎作用的机制主要在于抑制幽门螺旋杆菌的附着，其次在于对先天性免疫的刺激和对自由基的清除作用。

2 毛蕊花糖苷的提取工艺与分析鉴定

2.1 毛蕊花糖苷的提取工艺

1999 年，Duynstee 等[25]实现了毛蕊花糖苷的完全人工合成，但由于步骤多达 15 步且成本较高，缺乏商业开发价值。故现在主要选择从植物或植物愈伤组织、悬浮细胞培养物中提取得到毛蕊花糖苷。Wysokiińska 等[26]使用毛泡桐毛状根作为组织培养材料来源，结果在每升短期培养物中得到超过 1 g 的毛蕊花糖苷，高于自然条件培育下 3 年生的同种植物组织内的含量，具有良好的推广预期。使用植物组织进行培养耗时较短，且有利于植物资源保护，是工业规模化生产毛蕊花糖苷的重要备选方法。在材料来源得到保障后，毛蕊花糖苷的提取工艺便成为其能否大规模利用的关键。近年来毛蕊花糖苷的提取方法主要采取加热回流提取法和超声提取法、组织破碎提取法等。加热回流提取法使用的溶剂主要是乙醇，常配合一定的温度与时间进行回流，也有部分研究人员使用其他醇或醚类溶剂作为提取剂，但乙醇作为溶剂毒性小，制取得到的提取物较为安全，国内外使用这类方法得出的最佳提取参数已在表 1 中列出。与加热回流提取法不同，超声提取法利用了超声波的加热、空化、机械作用加速

植物组织内有效成分进入溶剂，组织破碎提取法则是在适量溶剂存在的情况下利用机器产生的高速剪切力和搅拌作用使植物组织迅速破碎，加速细胞内有效成分的溶出。超声提取法和组织破碎提取法都不需要额外加热，耗时和耗用溶剂均低于加热回流提取法，但对设备有较高要求。需要注意的是，单独使用超声提取法的有效物质得率低于加热回流提取法，故常将两者配合使用。

得到含毛蕊花糖苷的粗提取物后，国内主要采用柱层析与色谱技术结合法或大孔树脂纯化法作进一步纯化处理，其中大孔树脂纯化法相对前者使用试剂简单、危害小，相对能满足工业化生产的需求。

表 1　毛蕊花糖苷的提取最佳工艺参数

Table 1　Optimal processing parameters of verbascoside extraction

材料 Materials	溶剂 Solvent	料液比 Solid: liquid/ (g/mL)_	提取次数 Extraction Frequency	提取时间 Extraction time/min	提取率 Extraction ratio/%	辅助手段 Supplementary means	参考文献 References
肉苁蓉 *Boschniakia rossica*	60%乙醇	1:10	1	120	0.3970	加热回流	杨建宏等[27]
沙苁蓉 *Cistanche sinensis*	70%乙醇	1:10	1	90	0.278 4	加热回流	杨振亚等[28]
广藿香 *Pogostemon cablin* (Blanco) Benth.	水	1:50	2	75	0.420 0	加热	叶超等[29]

生地黄 *Rehmannia*	38%乙醇	1:19.3	1	60	0.960 0		Huang 等[30]
杜虹花 *Callicarpa formosana* Rolfe.	60%乙醇	1:25	1	60	0.705 0	加热回流	陶方方等[31]
密蒙花 *Buddleja officinalis* Maxim.	60%乙醇	1:15	3	120	1.130 0	加热回流	胡海[32]
芝麻芽 *Sesamum indicum* Linn.	90%乙醇	1:27	1	240	0.760 0	加热回流	胡海[32]

2.2　毛蕊花糖苷的分析鉴定

毛蕊花糖苷在分离纯化之后，可进行鉴定以及含量测定。目前市面上已有标定纯度的毛蕊花糖苷对照品供选择，但关于毛蕊花糖苷的定性方法仍无统一标准。国内多使用高效液相色谱（high performance liquid chromatography,HPLC）法或薄层色谱（thin layer chromatography，TLC）法配合毛蕊花糖苷标准品对其进行定性和定量分析，紫外分光光度法和胶束毛细管电泳测定法亦可用于对毛蕊花糖苷的定量分析。

3　毛蕊花糖苷在畜禽生产中的应用

目前毛蕊花糖苷在畜禽生产中的应用主要聚焦在对动物氧化应激的干预以及畜产品的品质改善等方面。

实际生产中，环境来源和动物自身来源氧化应激均会影响动物对营养的吸收和编译系统的运行，毛蕊花糖苷具有清除自由基和提高机体抗氧化水平的能力，因此有利于肠道环境稳定，促进动物健康。Giancamillo 等[33]在雄性 Dalland 猪饲粮中添加毛蕊花糖苷(5 mg/kg)，结果显示毛蕊花糖苷显著降低了肠内分泌细胞内硝基甲苯胺的水平，对肠道氧化应激和亚硝化

应激的消除有积极作用，有效减轻肠道负担。Rossi 等[34]研究在饲粮中持续添加毛蕊花糖苷（5 mg/kg）对 Dalland 猪胴体品质、猪肉品质以及猪肉抗氧化性的影响时发现饲喂毛蕊花糖苷组的新鲜背最长肌中 α-生育酚的水平有极显著的提高，脂肪氧化值极显著降低，烹饪过后于 4 ℃储藏 24 h 后背最长肌的脂肪酸败味有所降低。脂肪的氧化和酸败程度是消费者和商家评判肉制品好坏的重要指标，毛蕊花糖苷在饲粮中的添加显著地提升了猪背最长肌的抗氧化水平，优化了肉品质，这一点值得参考。Corino 等[35]发现在仔猪饲粮中添加 10 mg/kg 毛蕊花糖苷能显著提高末重和仔猪抗氧化应激的能力。随着当今社会的快速发展，人们对肉品质的要求日渐提升。肉品在经过冷冻仓储或长途冷链运输后品质常常受到影响，毛蕊花糖苷能有效提高在低温贮藏环节下猪肉的抗氧化能力和风味稳定性，同时不对肉类其他指标造成影响。在饲粮中添加毛蕊花糖苷能一定程度上提高仔猪的生长性能，并具有减轻猪肠道应激、提升猪肉品质和屠宰后商用属性的重要作用。

产奶动物方面应用毛蕊花糖苷的研究也在逐步开展。Casamassima 等[36]研究添加亚麻籽、维生素 E 和毛蕊花糖苷的饲粮对产后乳羊产奶量和奶品质时发现，饲粮中的毛蕊花糖苷使羊乳的胆固醇水平降低，维生素 A 和维生素 E 的水平升高，从而使羊乳的脂肪过氧化水平降低，提升了羊乳的品质。考虑到毛蕊花糖苷对羊乳品质的改善作用及其广泛的抗炎作用，今后可以进一步开展毛蕊花糖苷在奶牛、水牛、骆驼等经济动物的乳品质改善以及乳房炎等常见炎症防治 2 个领域方面的研究，以期提高乳品品质，降低药物的使用，为产乳类经济动物产业带来新的产品优化方案。

4 小 结

随着经济的发展和社会的进步，大众对动物产品的质量与安全性有了新的要求。目前饲料工业中多使用抗生素类药物和人工合成抗氧剂如丁羟基茴香醚（BHA）、二丁基羟基甲苯（BHT），由于这些饲料添加剂的不安全性，其使用正逐步受到限制。我国是植物资源大国，如何利用现有优势，在天然植物来源中寻找安全高效、来源广泛的相关替代品，已成为饲料添加剂工业可持续发展的当务之急。毛蕊花糖苷不但具有良好的抗氧化、抗炎症功能，对消化系统、生殖系统、免疫系统也具有一定的积极作用。毛蕊花糖苷作为一种备选的多功能饲料添加剂，源自植物，无毒无害，使用后不存在残留和污染，是未来饲料产业发展的可靠选择之一。目前毛蕊花糖苷主要由植物组织提取得来，如何在现有的基础上开发出成本更低的

合成与提取技术，是毛蕊花糖苷在生产中大范围推广使用的关键所在。同时关于毛蕊花糖苷在动物生产中的适用范围与剂量方面的研究与探索偏少，尚有许多问题有待解决，日后的相关研究极有可能着眼于毛蕊花糖苷提高饲料利用率、机体抗氧化水平和改善畜产品品质等方面。通过人们对毛蕊花糖苷逐步深入的研究，毛蕊花糖苷将在动物生产与产品改善领域发挥更大的潜力。

参考文献：

[1] SCARPATI M L,DELLE MONACHE F,et al.Isolation from *Verbascum sinuatum* of two new glucosides,verbascoside and isoverbascoside[J].Annali di Chimica,1963,53(1):356–367.

[2] 赵军,刘涛,马龙,等.类叶升麻苷对大鼠原代肝细胞免疫性肝损伤的保护作用[J].西北药学杂志,2013,28(3):269–271.

[3] 杨芳艳,蒲小平.类叶升麻苷对鱼藤酮致 SH_SY5Y 细胞凋亡的保护作用[J].中国药理学通报,2006,22(2):159–164.

[4] 彭晓明,高莉,霍仕霞,等.类叶升麻苷对阿尔采末病小鼠皮层 Caspase-3 基因表达的影响[J].中国药理学通报,2014,30(12):1763–1768.

[5] 高燕,蒲小平.类叶升麻苷抗鱼藤酮致 SH-SY 5Y 细胞损伤机制的研究[J].中国药理学通报,2007,23(2):161–165.

[6] WANG P F,KANG J H,ZHENG R L,et al.Scavenging effects of phenylpropanoid glycosides from *Pedicularis* on superoxide anion and hydroxyl radical by the spin trapping method(95)02255-4[J].Biochemical Pharmacology,1996,51(5):687–691.

[7] FUNES L,LAPORTA O,CERDÁN-CALERO M,et al.Effects of verbascoside,a phenylpropanoid glycoside from lemon verbena,on phospholipid model membranes[J].Chemistry and Physics of Lipids,2010,163(2):190–199.

[8] WU Y T,TSAI T R,LIN L C,et al.Liquid chromatographic method with amperometric detection to determine acteoside in rat blood and brain microdialysates and its application to pharmacokinetic study[J].Journal of Chromatography B,2007,853(1/2):281–286.

[9] 甘萍,霍仕霞,白鹏,等.类叶升麻苷在大鼠体内的药代动力学及组织分布研究[J].中国药理学通报,2014,30(3):417–420.

[10] D'IMPERIO M,CARDINALI A,D'ANTUONO I,et al.Stability-activity of verbascoside,a known antioxidant compound,at different pH conditions[J].Food Research International,2014,66:373–378.
[11] 雷厉,宋志宏,李寅增,等.管花肉苁蓉苯乙醇总苷在狗胃肠道内的生物转化[J].药学学报,2001,36(6):432–435.
[12] 李丽,刘质净,时东方,等.车前草中苯乙醇苷类化合物的抗氧化活性研究[J].江苏农业科学,2010(1):275–277.
[13] 朱梅菊,谭宁华,朱洪竹,等.毛蕊花苷和马蒂苷抗运动性疲劳作用及其对自由基代谢的影响[J].中国运动医学杂志,2009,28(5):310–311.
[14]PASTORE S,LULLI D,FIDANZA P,et al.Plant polyphenols regulate chemokine expression and tissue repair in human keratinocytes through interaction with cytoplasmic and nuclear components of epidermal growth factor receptor system[J].Antioxidants & Redox Signaling,2012,16(4):314–328.
[15] 王洪权,王玉敏,崔其福,等.类叶升麻苷通过激活 ERK1/2 诱导血红素加氧酶-1 的表达[J].西安交通大学学报:医学版,2015,36(1):117–120.
[16]SONG H S,CHOI M Y,KO M S,et al.Competitive inhibition of cytosolic Ca^{2+}-dependent phospholipase A_2 by acteoside in RBL-2H3 cells[J].Archives of Pharmacal Research,2012,35(5):905–910.
[17]OUITAS N A,HEARD C.Estimation of the relative antiinflammatory efficacies of six commercial preparations of *Harpagophytum procumbens* (Devil’s Claw)[J].Phytotherapy Research,2010,24(3):333–338.
[18]RAO Y K,FANG S H,HSIEH S C,et al.The constituents of *Anisomeles indica* and their anti-inflammatory activities[J].Journal of Ethnopharmacology,2009,121(2):292–296.
[19] 王琳琳,李薇,宋新波,等.肉苁蓉中松果菊苷和毛蕊花糖苷的植物雌激素活性研究[J].天然产物研究与开发,2014,26(3):377–380.
[20] 邢晓旭,刘钟杰,韩博.麦角甾苷及松果菊苷对体外培养大鼠成骨细胞 BMP2 基因表达的影响[J].动物医学进展,2011,32(8):45–48.

[21] 马晶晶,赵帆,孙云.类叶升麻苷对肾阳虚小鼠补肾壮阳作用的研究[J].扬州大学学报:农业与生命科学版,2009,30(3):22–25.

[22] 孙卫东,陈飞,孙云.阿克替苷抑制大鼠前列腺增生的药理学研究[J].扬州大学学报:农业与生命科学版,2008,29(4):33–36.

[23] 张洪泉,刘晓梅,石惠芳,等.麦角甾甙对实验动物消化功能的影响[J].中国野生植物资源,2002,20(6):46–47,45.

[24] MARCIAL G,SENDKER J,BRANDT S,et al.Gastroprotection as an example:antiadhesion against *Helicobacter pylori*,anti-inflammatory and antioxidant activities of aqueous extracts from the aerial parts of *Lippia integrifolia* Hieron[J].Journal of Ethnopharmacology,2014,155(2):1125–1133.

[25] DUYNSTEE H I,KONING M C D,OVAA H,et al.Synthesis of verbascoside:a dihydroxyphenylethyl glycoside with diverse bioactivity[J].European Journal of Organic Chemistry,1999,1999(10):2623–2632.

[26] WYSOKIIŃSKA H,RÓZGA M.Establishment of transformed root cultures of *Paulownia tomentosa* for verbascoside production[J].Journal of Plant Physiology,1998,152(1):78–83.

[27] 杨建宏,李治芳,孙磊,等.正交设计优化肉苁蓉中麦角甾苷提取工艺[J].辽宁中医杂志,2010,37(5):891–892.

[28] 杨振亚,卢丹逸,马志国.正交试验法优选沙苁蓉提取工艺[J].中成药,2014,36(1):177–179.

[29] 叶超,刘芳,陈宝龙,等.高效液相色谱法测定广藿香中毛蕊花糖苷的含量[J].中南药学,2014(12):1248–1250.

[30] HUANG L T,SUN S P,ZHENG Y.Simultaneous determination and optimization of extraction process of catalpol and acteoside from *Rehmanniae Radix*[J].Journal of Chinese Medicinal Materials,2012,35(8):1318–1322.

[31] 陶方方,朱文瑞,阮善明,等.正交试验设计优选杜虹花止血有效成分毛蕊花糖苷的提取工艺研究[J].中华中医药学刊,2015,33(2):348–351.

[32] 胡海.两种植物麦角甾苷及其质量标准研究[D].硕士学位论文.武汉:武汉轻工大学,2014:1–23.

[33]GIANCAMILLO A D,ROSSI R,VITARI F,et al.Changes in nitrosative stress biomarkers in swine intestine following dietary intervention with verbascoside[J].Histology and Histopathology,2013,28(6):715–723.

[34] ROSSI R,RATTI S,PASTORELLI G,et al.The effect of dietary vitamin E and verbascoside on meat quality and oxidative stability of *Longissimus Dorsi* muscle in medium-heavy pigs[J].Food Research International,2014,65:88–94.

[35] CORINO C,ROSSI R,CANNATA S,et al.Growth performance and oxidative status in piglets supplemented with verbascoside and teupolioside[J].Italian Journal of Animal Science,2007,6(Suppl.1):292–294.

[36] CASAMASSIMA D,NARDOIA M,PALAZZO M,et al.Effect of dietary extruded linseed,verbascoside and vitamin E supplements on yield and quality of milk in Lacaune ewes[J].Journal of Dairy Research,2014,81(4):485–493.

Research Progress on Biological Functions of Verbascoside and Its Application in Animal Production

YUAN Yating　HU Guili　DING Peng　WANG Yushi　ZHANG Shirui　HE Xi*

(*Hunan Co-Innovation Center of Animal Production Safety, College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha* 410128, *China*)

Abstract: As a kind of phenylpropanoid glycoside, various plants contain verbascoside. Some researches showed verbascoside could improve meat and milk quality and increase animal performance. This article reviewed the main biological functions such as antioxidation and anti-inflammatory, and the latest available extraction, qualitative and quantitative analysis methods, as well as application of verbascoside in animal production.This review could be helpful to further application of verbascoside in animal production.

*Corresponding author, professor, E-mail: hexi111@126.com　(责任编辑　菅景颖)